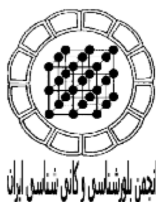
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و نهم، شمارۀ چهارم، زمستان ۱۴۰۰، از صفحۀ ۸۰۱ تا ۸۱۲



سنگ‌نگاری، شیمی سنگ کل و شرایط تشکیل آمفیبولیت‌های شرق سلماس، شمال غرب ایران

ثریاسادات سعیدی، رباب حاجی علی اوغلی*، محسن مؤذن

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۱۲/۹، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۲/۱۳)

چکیده: آمفیبولیت‌های شرق سلماس به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین واحدهای مجموعه دگرگونی، در شمال غرب پهنه سنندج – سیرجان واقع بوده که براساس بررسی‌های صحرایی، بیشتر از نوع آمفیبولیت‌های جهت‌یافته و دارای برگوارگی هستند. بر پایه بررسی های میکروسکوپی، آمفیبولیت‌ها شامل آمفیبولیت‌ها، بیوتیت – آمفیبولیت‌ها، اپیدوت – آمفیبولیت‌ها، بیوتیت - اپیدوت – آمفیبولیت-ها، ترمولیت - اکتینولیت – آمفیبولیت‌ها و بیوتیت - کلینوپیروکسن- آمفیبولیت‌ها هستند. نمونه‌های آمفیبولیتی منطقه براساس نمودارهای تغییرات عناصر خاکی نادر بهنجار شده به کندریت، بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی غنی شده، EMORB و گوشته اولیه دارای بیشترین الگوی موازی بوده و از نظر ویژگی‌های زمین شیمیایی مشابه بازالت‌های درون صفحه‌ای هستند. با توجه به نتایج شیمی سنگ کل، آمفیبولیت‌های مورد بررسی بیشتر از نوع اورتوآمفیبولیت با سنگ مادر از نوع بازالت و از نوع سری ماگمایی ساب آلکالن هستند که در جایگاه زمین‌ساختی درون صفحه‌ای قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: *سنگ‌نگاری؛ شیمی سنگ کل؛ آمفیبولیت؛ شرق سلماس؛ ایران.*

مقدمه

آمفیبولیت‌های شرق سلماس واقع در غرب دریاچه ارومیه در دورترین بخش شمال غرب ایران و در برخوردگاه دو پهنه مهم ساختاری سنندج – سیرجان و ایران مرکزی قرار دارند. براساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی و نیز ساختارهای زمین-شناسی شناخته شده با بررسی های صحرایی، این منطقه ارتباط و شباهت تنگاتنگی با واحدهای پهنه سنندج – سیرجان دارد [۱]. پهنه سنندج – سیرجان پهنه‌ای به طول ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض ۱۵۰ کیلومتر است که از غرب دریاچه ارومیه تا گسل میناب با روند شمال غرب – جنوب شرق ادامه دارد. پهنه سنندج – سیرجان، به‌ویژه شمال غرب آن، دارای انواع سنگ‌های دگرگونی و توده‌های آذرین چندفازی با گستره‌های سنی متفاوت است. با توجه به قرار گرفتن پهنه سنندج – سیرجان در سامانه کوهزایی زاگرس بین کمان ماگمایی ارومیه – دختر و زاگرس چین خورده [۲]، فرآیند باز و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس نیز می‌تواند بر مجموعه سنگ‌های آذرین و دگرگونی این پهنه می‌تواند تحت تاثیر اثر گذاشته باشد. ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ساختاری پهنه سنندج – سیرجان بیانگر یک کافت درون قاره ای در سپر پرکامبرین ایران و عربستان هستند که این گودال تا جنوب شرق ترکیه ادامه داشته است [۱].

این پهنه یک کمربند دگرگونی عمومی با رخساره شیست سبز تا آمفیبولیت بوده که بخش عمده‌ی آن از سنگ‌های دگرگونی، آتشفشانی و آذرین درونی دگرشکل یافته تشکیل شده است [۳]. اعتقاد بر این است که شمال غرب ایران و مناطق همسایه، شامل شمال شرق ترکیه و قفقاز کوچک منطقه‌ای پیچیده با هسته نئوپروتروزوئیک پسین - کامبرین پیشین (500-600Ma) است، که این قطعه‌های کادومین همراه با ساختارهای پالئوزوئیک - مزوزوئیک جوش خورده و سپس با وسعت‌های عظیمی از سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک پوشیده شده‌اند [۴]. آمفیبولیت‌های شرق سلماس در شمال غرب پهنه سنندج – سیرجان در تناوب با دیگر سنگ‌های

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۱۳۳۳۹۲۷۰۴، نمابر: ۰۴۱۳۳۳۹۲۷۰۳، پست الکترونیکی: hajialioghli@tabrizu.ac.ir

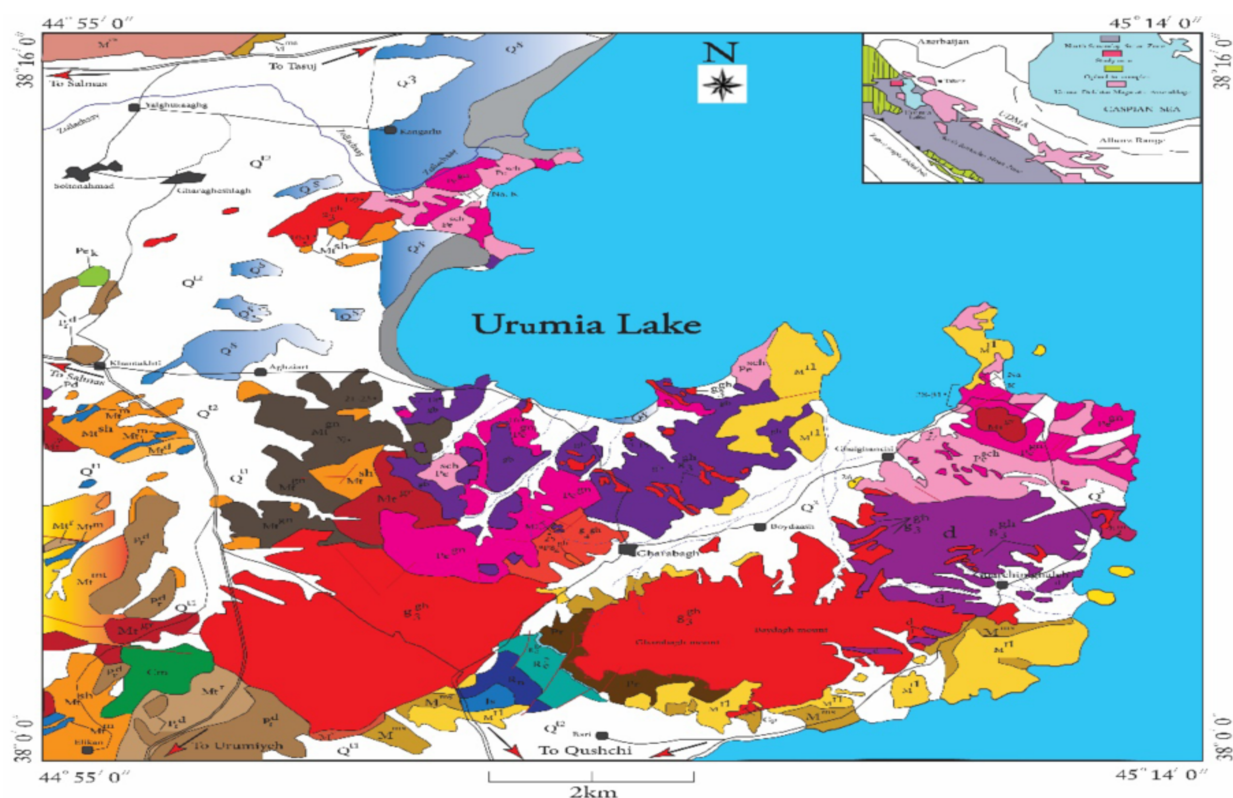
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.4.7.0]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.4.801]

دگرگونی چون گنیس‌ها، متاریولیت و مرمرها هستند، که با سنگ‌های رسوبی پرمین- ژوراسیک پوشیده شده و سپس توسط سنگ‌های نفوذی قطع شده‌اند [۶،۵].

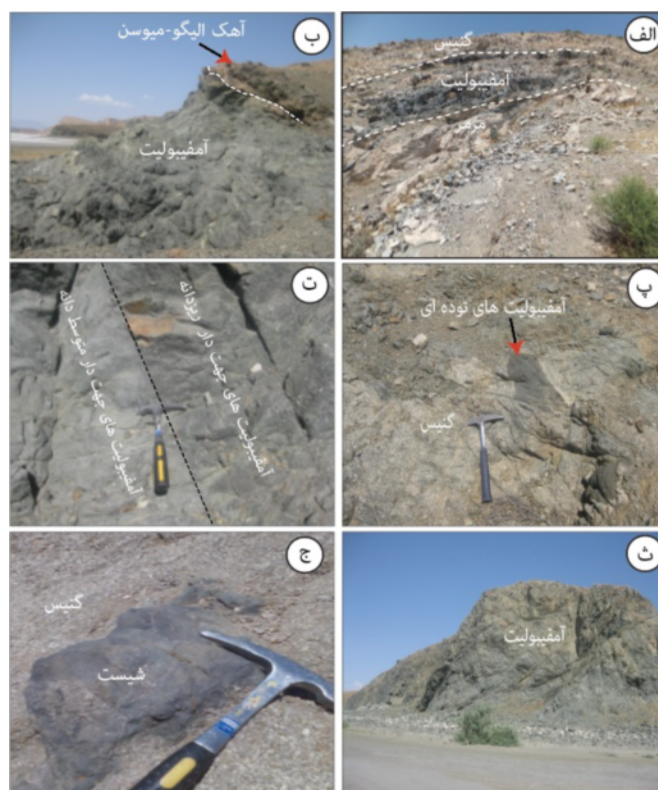
زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی در مرز بین استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، بترتیب در جنوب غرب، شرق و شمال شهرستان‌های تسوج، سلماس و ارومیه واقع است. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی 44° 55' 0" E تا 45° 14' 0" E طول شرقی و 38° 0' 0" N تا 38° 14' 0" N عرض شمالی است (شکل ۱). براساس زمان زمین‌شناسی، رخنمون انواع سنگ‌های پرکامبرین تا عهد حاضر در آن دیده می‌شود. کهن‌ترین سنگ-های منطقه مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی شامل سنگ‌های آتشفشانی – رسوبی (آرکوزی و آذرآواری نوع اسیدی)، تخریبی – تخریبی آتشفشانی و توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیت – دیوریت دگرگون شده در حد رخساره شیست سبز تا آمفیبولیت هستند (شکل ۱). سنگ‌های دگرگونی منطقه به-صورت مجموعه درهمی از آمفیبولیت، شیست، گنیس، سنگ-های آذرین - آتشفشانی و نفوذی دگرگون شده، مرمر و آهک-های متبلور هستند. اعتقاد بر این است که سازند کهر با دگرگونی بسیار ضعیف و همبری گسله با مجموعه سنگ‌های دگرگونی قرار دارد که اغلب سن این سازند را پرکامبرین پسین در نظر می‌گیرند [۷، ۸]. آمفیبولیت‌ها از جمله سنگ‌های دگرگونی منطقه هستند که از نظر فراوانی بیشترین حجم مجموعه دگرگونی شرق سلماس را تشکیل می‌دهند (شکل ۲ ث). براساس بازدیدهای صحرایی، آمفیبولیت‌ها و شیست‌ها بیشتر همراه با دیگر واحدهای دگرگونی چون گنیس‌ها و آهک‌های متبلور دیده می‌شوند (شکل‌های ۲ الف، پ و ج) که گاهی با گنیس‌ها در تماس مستقیم بوده و یا به‌صورت قطعه-هایی کوچک و بزرگ درون آنها قابل مشاهده هستند (شکل-های ۲ پ و ج). براساس بررسی‌های صحرایی، آمفیبولیت‌ها در برخی جاها با سنگ آهک‌های جوانتر به سن الیگو - میوسن به‌صورت دگرشیب پوشیده شده‌اند [۶،۵] (شکل ۲ ب) که بیشتر به‌صورت جهت‌یافته و توده‌ای با اندازه‌های ریز و متوسط‌دانه و با آثار چین‌خوردگی دیده می‌شوند (شکل ۲ ت). واحدهای پرمین در منطقه به‌طور عمده شامل ماسه سنگ‌هایی مشابه سازند درود در زیر و آهک‌هایی چون سازند روته در بخش بالایی هستند. نهشته‌های آهکی پرمین با ضخامت قابل توجهی با همبری گسله بر مجموعه سنگ‌های دگرگونی قرار دارند. از آنجا که این همبری در سراسر شمال غرب ایران دیده می‌شود و همچنین با مقایسه این واحدها با واحدهای مشابه در کشور همسایه ترکیه، شاید بتوان گفت که سن سنگ‌های دگرگونی به احتمال بسیار پرکامبرین - پالئوزوئیک (پیش از پرمین) است [۷، ۸]. نهشته‌های تریاس – ژوراسیک بطور عمده در گردنه قوشچی رخنمون دارند که شامل آهک مارنی نازک‌لایه، دولومیت، آهک دولومیتی (معادل‌های سازند الیکا)، آهک با تناوبی از شیل و ماسه‌سنگ (معادل سازند نایبند) و آمیزه‌ای از شیل و ماسه‌سنگ (معادل سازند شمشک) است. در منطقه، رسوب‌های هم ارز سازند شمشک دیده می‌شوند که در آن‌ها ریز سنگواره‌هایی به سن لیاس شناسایی شده و که با رسوب‌های الیگو - میوسن به‌طور دگرشیب پوشیده شده‌اند [۶،۵] واحدهای کرتاسه بیشتر به‌صورت مجموعه آمیزه رنگین دیده می‌شوند که با توجه به بررسی‌های پیشین، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین و رسوبی دگرگون شده در حد رخساره شیست‌سبز هستند [۵، ۶]. نهشته‌های ترشیری منطقه با گسترش بسیار مربوط به واحدهای میوسن هستند که به‌طور پیشرونده و با دگرشیبی زاویه‌دار بر سنگ‌های قدیمی‌تر قرار دارند که از قدیم به جدید شامل کنگلومرای قاعده، آهک خاکستری کم رنگ تا سفید، تناوبی از مارن لای‌دار خاکستری، ماسه سنگ، آهک، کنگلومرا، سنگ گچ و شیل خاکستری، کنگلومرا با تناوبی از ماسه سنگ و شیل هستند. نهشته‌های کواترنر بیشتر بصورت آبرفت بوده که این رسوب‌های شامل دو سامانه پادگانه آبرفتی و مخروط افکنه هستند. توده‌های نفوذی بیشترین حجم سنگ‌های منطقه را تشکیل می‌دهند که شامل انواع سنگ‌های آذرین اسیدی، متوسط و مافیک هستند. گرانیت قوشچی گسترده‌ترین توده نفوذی منطقه است که در بین سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین با سن اواخر پالئوزوئیک قرار دارد [۵، ۶]. گابرو – دیوریت‌ها از دیگر توده‌های نفوذی منطقه هستند که ترکیب شیمیایی این سنگ‌ها از ملانوگابرو تا دیوریت متغیر است و براساس سن سنجی‌های گزارش شده، این توده ها با سن اواخر پالئوزوئیک درون سنگ‌های دگرگونی منطقه نفوذ کرده‌اند [۷، ۸].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.4.7.0]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.4.801]



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی، برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج [۵] و سلماس [۶].



شکل ۲ الف) تناوبی از واحدهای آمفیبولیت، گنیس و آهک متبلور در ارتفاع‌های قره قشلاق (دید به سمت شمال)، ب) برخوردگاه ناپیوسته آمفیبولیت‌های منطقه با آهک‌های الیگو- میوسن، پ) قطعه‌هایی از آمفیبولیت‌های توده‌ای درون گنیس‌های منطقه (دید به سمت جنوب)، ت) آمفیبولیت‌های جهت‌یافته با دانه‌های ریز و متوسط (دید به سمت جنوب شرق)، ث) رخنمون آمفیبولیت در ساحل غربی دریاچه ارومیه (دید به سمت جنوب) و ج) برخوردگاه شیست سبز توده‌ای با گنیس (دید به سمت شمال- شمال شرق).

نمونه‌برداری و روش بررسی

نمونه‌برداری از مجموعه سنگ‌های دگرگونی، آذرین و رسوبی منطقه مورد بررسی طی بازدیدهای صحرایی در چند روز متوالی به‌صورت منظم انجام شد. از بین تعداد زیادی از نمونه‌های برداشت شده، ۴۰ نمونه آمفیبولیت سالم و دارای کمترین هوازدگی برای تهیه مقاطع میکروسکوپی و بررسی‌های سنگ نگاری انتخاب شدند. از بین ۴۰ نمونه آمفیبولیتی، تعداد ۵ نمونه سالم (SS20F, SS26H, SS20B, SS20M, SS30D) کمترین هوازدگی برای تجزیه شیمیایی سنگ کل به روش ذوب قلیایی و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) به آزمایشگاه شرکت MS Analytical کانادا ارسال شدند (جدول ۱).

سنگ‌نگاری

براساس بررسی‌های میکروسکوپی، آمفیبولیت‌های منطقه شامل ۶ گروه آمفیبولیت‌ها، بیوتیت – آمفیبولیت‌ها، اپیدوت-آمفیبولیت‌ها، بیوتیت - اپیدوت – آمفیبولیت‌ها، ترمولیت - اکتینولیت – آمفیبولیت‌ها و بیوتیت - کلینوپیروکسن-آمفیبولیت‌ها هستند. آمفیبولیت‌ها به‌طور عمده پیرامون منطقه آق زیارت فراوانی قابل توجهی دارند و در نمونه دستی به رنگ سبز تیره هستند. براساس بررسی‌های میکروسکوپی، این سنگ‌ها بیشتر از کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، اکسیدهای Fe-Ti یا ایلمنیت به همراه کوارتز، تیتانیت و زیرکن تشکیل شده‌اند (شکل ۳ الف). آمفیبول‌های سبز - قهوه‌ای نسبت به آمفیبول‌های سبز - آبی فراوانی بیشتری در آمفیبولیت‌ها دارند و در بررسی‌های بافتی هر دو جهت‌یافتگی مشخصی را نشان می‌دهند. اکسیدهای Fe-Ti بطور عمده در آمفیبولیت‌ها از لبه به تیتانیت تبدیل شده‌اند که در بیشتر مقاطع بسیار دیده می‌شوند. این آمفیبولیت‌ها نسبت به سایر آمفیبولیت‌ها دستخوش دگرسانی کمتری شده‌اند. در منطقه مورد بررسی، بیوتیت آمفیبولیت‌ها پیرامون روستاهای آق زیارت و قلقانچی رخنمون گسترده‌ای دارند که در نمونه دستی به رنگ سبز روشن هستند و دچار دگرسانی به نسبت شدیدی شده‌اند. این سنگ‌ها شامل کانی‌های آمفیبول سبز - آبی و سبز – قهوه‌ای، فلدسپات، بیوتیت به همراه کانی‌های فرعی کوارتز، تیتانیت و اکسیدهای

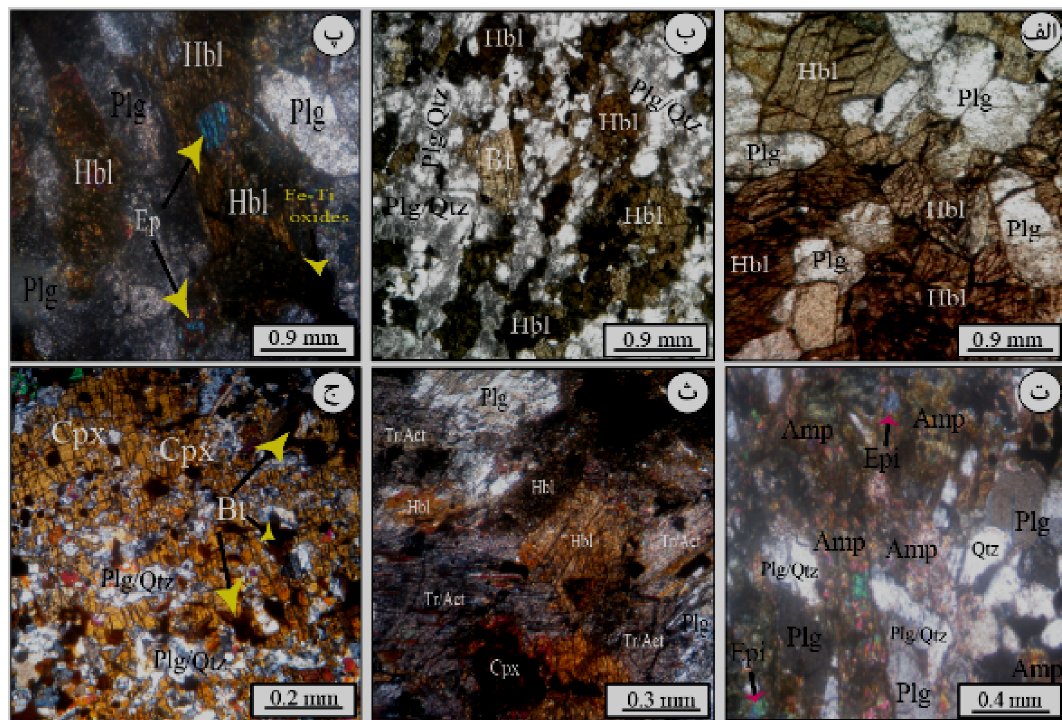
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.4.7.0]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.4.801]

Fe-Ti هستند (شکل ۳ ب). براساس بررسی‌های میکروسکوپی، بافت عمده این سنگ‌ها دانه شکفتی و غربالی هستند که با قرار گرفتن شکفته بلور آمفیبول و تیتانیت در زمینه‌ای از فلدسپات مشخص می‌شوند. فلدسپات‌های این سنگ پلاژیوکلاز هستند که تا حد بسیاری دگرسان شده‌اند. در این سنگ‌ها، تیتانیت هم به‌صورت اولیه و هم ثانویه حضور دارد. اپیدوت آمفیبولیت‌ها با رخنمون گسترده و بسیار دگرسان شده پیرامون روستای قلقانچی برونزد دارند که از نظر کانی‌شناسی، بیشتر شامل آمفیبول، پلاژیوکلاز، اپیدوت و کانی‌های فرعی کوارتز و اکسیدهای Fe-Ti هستند (شکل ۳ پ).

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی سنگ کل آمفیبولیت‌های (Amp) مجموعه دگرگونی شرق سلماس به روش‌های طیف سنجی فلوئورسانس پرتوی ایکس (XRF) و ICP-MS.

نمونه	SS20F	SS26H	SS20B	SS20M	SS30D
SiO_2(%)	۴۸٫۸۳	۴۵٫۱۵	۴۶٫۱۵	۴۷٫۲۷	۵۱٫۵۱
TiO_2	۲٫۲۳	۲٫۶۲	۱٫۹۵	۱٫۸۳	۱٫۲۳
Al_2O_3	۱۴٫۵۵	۱۶٫۶۲	۱۶٫۲۴	۱۶٫۱۵	۱۷٫۷۲
$Fe_2O_3^*$	۱۱٫۸۳	۱۵٫۲۹	۱۳٫۲۵	۱۲٫۶۵	۱۲٫۱۵
FeO	۸٫۷	۱۱٫۱۷	۹٫۸	۹٫۳۲	۹٫۴۲
MnO	۰٫۱۸	۰٫۲۱	۰٫۲	۰٫۱۹	۰٫۲۱
MgO	۶٫۲۷	۴٫۴۴	۸٫۶۸	۶٫۳۶	۱٫۲۵
CaO	۹٫۲۱	۷٫۵	۸٫۳۶	۸٫۱۳	۵٫۱۹
Na_2O	۲٫۸۴	۳٫۳۲	۳٫۰۷	۳٫۱۷	۴٫۸
K_2O	۰٫۷۴	۱٫۱۱	۰٫۸۳	۰٫۹۵	۲٫۴۶
P_2O_5	۰٫۳۵	۰٫۹۱	۰٫۱۹	۰٫۲۳	۰٫۵۹
BaO	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۸
Cr_2O_3	۰٫۰۲	<۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۳	<۰٫۰۱
SrO	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴
LOI	۱٫۳۸	۱٫۵۵	۱٫۱۴	۱٫۱۲	۰٫۴۳
TC	۰/۱۹	۰٫۲۳	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۱۶
TS	۰/۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵
Total	۹۸٫۴۸	۹۸٫۷۸	۹۸٫۱۸	۹۸٫۱۵	۹۷٫۷۲
Ba(ppm)	۱۶۹٫۷	۳۲۲٫۸	۲۳۰٫۲	۲۹۸٫۳	۷۵۴٫۸
Ce	۵۴٫۶	۹۵٫۱	۲۴٫۴	۲۷٫۵	۱۵۳٫۷
Co	۳۹٫۷	۳۶٫۲	۴۳٫۱	۴۳٫۲	۹٫۹
Cr	۱۳۷	۵۴	۳۹۵	۲۲۸	۲۹
Cs	۰٫۹۷	۱٫۰۴	۰٫۳۹	۰٫۳۸	۰٫۹۳
Dy	۵٫۲۷	۹٫۴۷	۴٫۲۶	۴٫۸	۱۳٫۸۹
Er	۲٫۸۶	۵٫۱۴	۲٫۵۶	۲٫۸۳	۷٫۷۸
Eu	۱٫۸۲	۳٫۱۴	۱٫۳۷	۱٫۴۳	۴٫۲۹
Ga	۲۰	۲۵٫۷	۱۷٫۸	۱۸٫۳	۳۵٫۷
Gd	۵٫۸۶	۱۱٫۱۸	۳٫۹۳	۴٫۴	۱۵٫۰۵
Hf	۴٫۹	۶٫۷	۳٫۱	۳٫۲	۲۱٫۴
Ho	۱٫۰۴	۱٫۸۶	۰٫۸۷	۱	۲/۶۸
La	۱۹٫۸	۴۳٫۶	۱۱٫۱	۱۲٫۳	۷۳٫۹
Lu	۰٫۳۳	۰٫۶۵	۰٫۳۷	۰٫۳۸	۰٫۹
Nb	۲۲٫۳	۳۹٫۹	۱۲٫۵	۱۳٫۶	۴۵٫۱
Nd	۲۴٫۸	۴۸٫۸	۱۳٫۷	۱۵٫۷	۷۳٫۵
Ni	۷۸٫۳	۴۳٫۳	۷۵٫۴	۷۳٫۱	۳٫۳
Pr	۵٫۸۲	۱۱٫۷۹	۳٫۱۷	۳٫۶۵	۱۸٫۱۶
Rb	۱۷٫۲	۲۷٫۷	۳۱٫۲	۳۷٫۶	۴۸٫۱
Sc	۲۷٫۱	۲۲٫۹	۲۸	۲۶٫۷	۱۵٫۲
Sm	۵٫۱۷	۱۰٫۹۶	۳٫۶۹	۴٫۰۱	۱۵٫۴۷
Sn	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵
Sr	۴۵۳	۴۰۵٫۶	۸۱/۳	۹۴٫۹	۳۹۳
Ta	۱٫۶	۲٫۷	۰٫۸	۱	۱٫۷
Tb	۰٫۹	۱٫۶۴	۰٫۶۵	۰٫۷۷	۲٫۳۱
Th	۶٫۲۴	۴٫۳۱	۳٫۰۹	۱٫۶۸	۵٫۰۹
Tm	۰٫۳۶	۰٫۷۱	۰٫۳۷	۰٫۴۳	۱٫۰۳
U	۰٫۵۱	۱٫۴۲	۰٫۴۴	۰٫۳۵	۲/۵۳
V	۲۵۳	۱۴۳	۲۳۴	۱۹۸	۱۴
W	<۱	<۱	۱<	۱	<۱
Y	۲۶٫۶	۴۷٫۸	۲۲/۹	۲۵٫۹	۷۳/۷
Yb	۲٫۴	۴٫۲۵	۲/۳۵	۲٫۶۳	۵٫۹۴
Zr	۱۷۲	۲۹۲	۱۱۹	۱۱۸	۸۴۴

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.4.7.0]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.4.801]



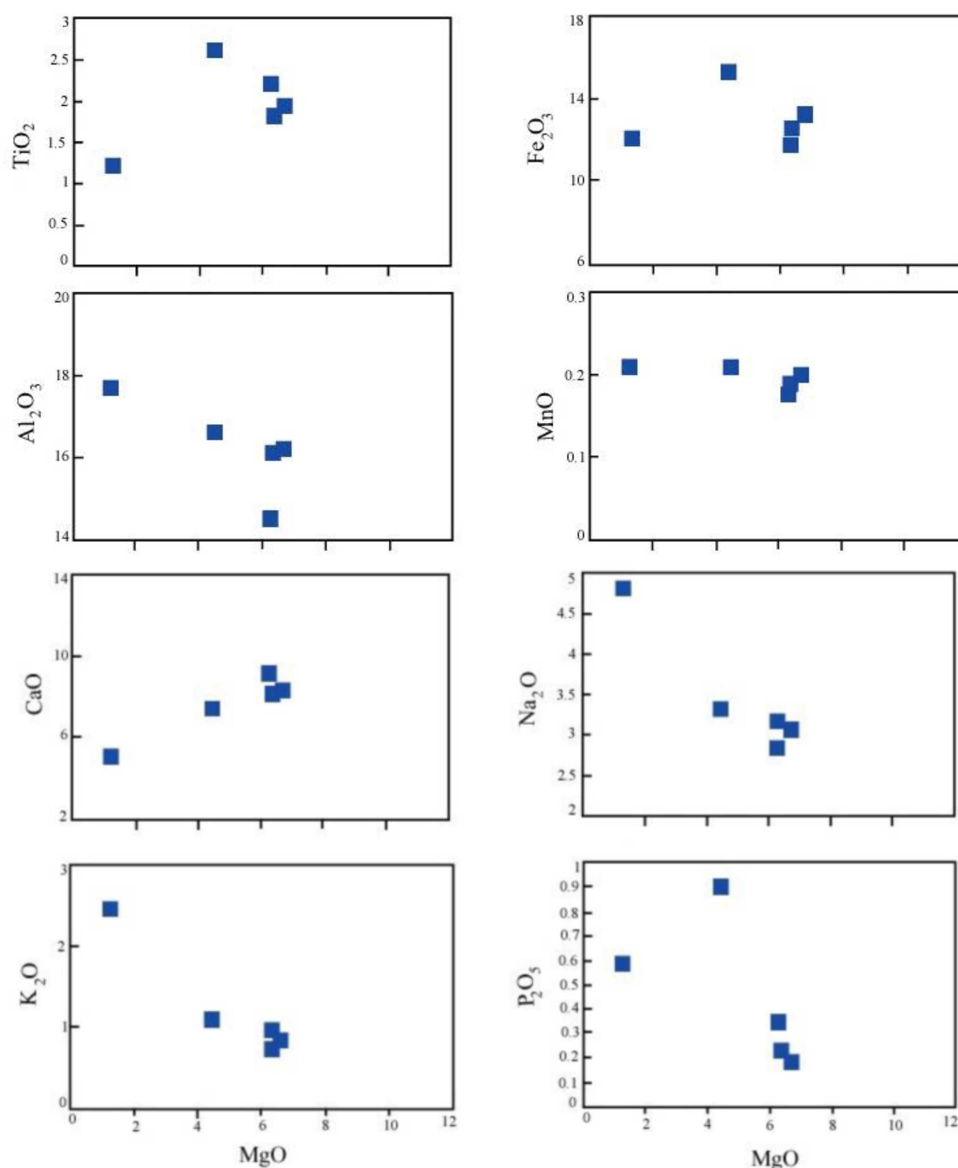
شکل ۳ مقاطع میکروسکوپی آمفیبولیت‌ها: الف) آمفیبولیت‌های معمولی (نور قطبیده صفحه‌ای،PPL)، ب) بیوتیت آمفیبولیت‌ها (نور PPL)، پ) اپیدوت آمفیبولیت‌ها نور قطبیده متقاطع، (XPL)، ت) بیوتیت – اپیدوت آمفیبولیت‌ها (نور XPL)، ث) ترمولیت – اکتینولیت آمفیبولیت‌ها (نور XPL) و ج) بیوتیت – کلینوپیروکسن آمفیبولیت (نور PPL).

در این سنگ‌ها، اپیدوت هم به‌صورت اولیه و هم به‌صورت ثانویه حضور دارد. براساس بررسی‌های میکروسکوپی، کانی‌های تیره هم به‌صورت اولیه و هم به‌صورت ثانویه ناشی از دگرسانی کانی‌های آهن و منیزیم‌دار در سنگ دیده می‌شوند. بیوتیت - اپیدوت آمفیبولیت‌ها به‌طور کلی در ارتفاع‌های شمال شرق روستای قلقانچی و پیرامون دریاچه ارومیه برونزد گسترده‌ای دارند که در بازدیدهای صحرایی با دو بافت ریزدانه و درشت دانه دیده می‌شوند. براساس بررسی‌های میکروسکوپی، این سنگ‌ها شامل کانی‌های هورنبلند سبز – قهوه‌ای، فلدسپات، بیوتیت، اپیدوت به همراه کانی‌های فرعی کوارتز و اکسیدهای Fe-Ti هستند (شکل ۳ ت). در این سنگ‌ها، کانی‌های آمفیبول در دو اندازه ریز و درشت‌دانه دیده می‌شوند که به‌صورت متناوب با زمینه کوارتز و فلدسپات جهت‌یافتگی نمایانی دارند. کانی بیوتیت و اپیدوت بیشتر به صورت اولیه هستند و کمتر دچار دگرسانی آمفیبول شده‌اند. اکسیدهای Fe-Ti در بیوتیت - اپیدوت آمفیبولیت‌ها مانند دیگر آمفیبولیت‌ها، در زمینه دانه شکفتی سنگ دیده می‌شوند. ترمولیت - اکتینولیت آمفیبولیت‌ها با گستردگی به نسبت بالا پیرامون جنوب شرق روستای آق زیارت رخنمون دارند که در بازدیدهای صحرایی در معرض فازهای زمین‌ساختی منطقه بشدت دچار چین‌خوردگی شده‌اند. این سنگ‌ها از نظر کانی‌شناسی شامل آمفیبول‌های سبز – قهوه‌ای و ترمولیت – اکتینولیت‌های سوزنی و پلاژیوکلاز به همراه کانی‌های فرعی کوارتز، اکسیدهای Fe-Ti و کلسیت ثانویه هستند. در برخی از این سنگ‌ها، کانی‌های کلینوپیروکسن به‌صورت باقی مانده آذرین در مرکز ترمولیت-اکتینولیت دیده می‌شوند (شکل ۳ ث). براساس بررسی‌های میکروسکوپی، بقایای بافت دلریتی بصورت پلاژیوکلاژهای با بافت یا ریزبافت هفت – هشتی در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. بیوتیت - کلینوپیروکسن آمفیبولیت‌ها پیرامون ارتفاع‌های شمالی قره‌باغ رخنمون به نسبت کمی دارند که در اثر زمین ساخت منطقه خرد شده‌اند. این سنگ‌ها بیشتر شامل کانی‌های هورنبلند، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کلینوپیروکسن به همراه کانی-های فرعی کوارتز و اکسیدهای Fe-Ti هستند (شکل ۳ ج).

نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و فرعی نسبت به MgO

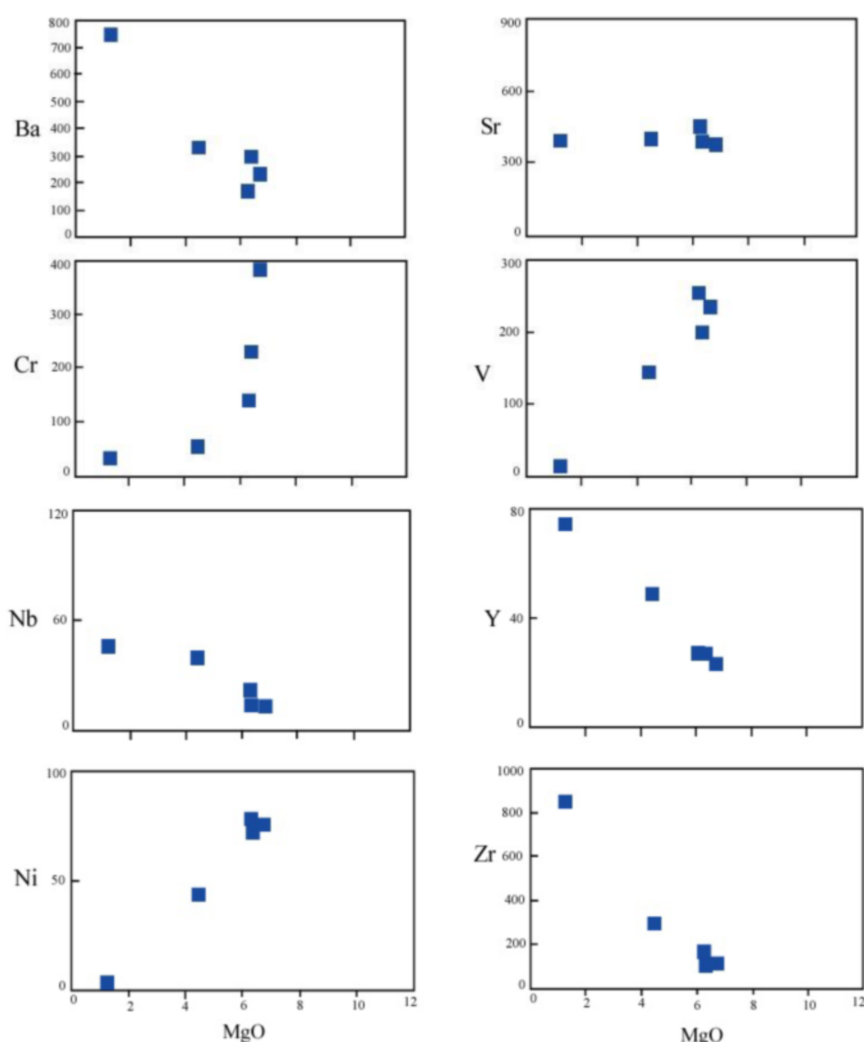
از آنجا که با توجه به نمودارهای سری ماگمایی مشخص شد که آمفیبولیت‌های منطقه مورد بررسی اغلب از یک نوع سری ماگمایی هستند، از نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی و

فرعی نسبت به MgO استفاده شد تا این تطابق بخوبی دیده شود (شکل‌های ۴ و ۵). بر این اساس، اکسید TiO_2 یک روند صعودی متناسب با MgO نشان می‌دهد که TiO_2 بیشتر بصورت اکسیدهای آهن – تیتان یا ایلمنیت و تیتانیت تبلور می‌یابد. در نمودار Al_2O_3 نسبت به MgO، یک روند نزولی دیده می‌شود که به اعتقاد کوکاک و همکاران [۹]، می‌تواند بیانگر نقش اساسی کانی‌های الیوین و پیروکسن در تبلور اولیه سنگ‌های بازی باشد. با افزایش MgO، اکسید CaO روندی صعودی را نشان می‌دهد که می‌تواند گویای تبلور کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول‌های کلسیم‌دار در مراحل اولیه تبلور و همچنین تبلور همزمان پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن باشد. با افزایش مقدار MgO، روند نزولی برای اکسیدهای K_2O و Na_2O دیده می‌شود که کاهش Na_2O در نتیجه تبلور پلاژیوکلاز سدیم‌دار یا آلبیت است و از طرفی، روند نزولی K_2O می‌تواند بیانگر حضور این عنصر در ترکیب کانی‌های بیوتیت و فلدسپار پتاسیم در مراحل نهایی تبلور ماگما باشد. اکسیدهای Fe_2O_3، MnO و P_2O_5 روند مشخصی را نشان نمی‌دهند، به طوری که برخی از نمونه‌ها روند صعودی و برخی دیگر روند نزولی دارند. در واقع، با افزایش MgO، باید اکسیدهای Fe_2O_3 و MnO روند صعودی داشته باشند، ولی چون تغییرات آنها نامنظم است، به احتمال بسیار عوامل دیگری چون تبلور جدایشی و فرآیندهای دگرسانی و دگرگونی دخیل بوده‌اند.



شکل ۴ نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به اکسید MgO برای آمفیبولیت‌های مورد بررسی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.4.7.0]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.4.801]



شکل ۵ نمودارهای تغییرات عناصر فرعی نسبت به اکسید MgO برای آمفیبولیت‌های مورد بررسی.

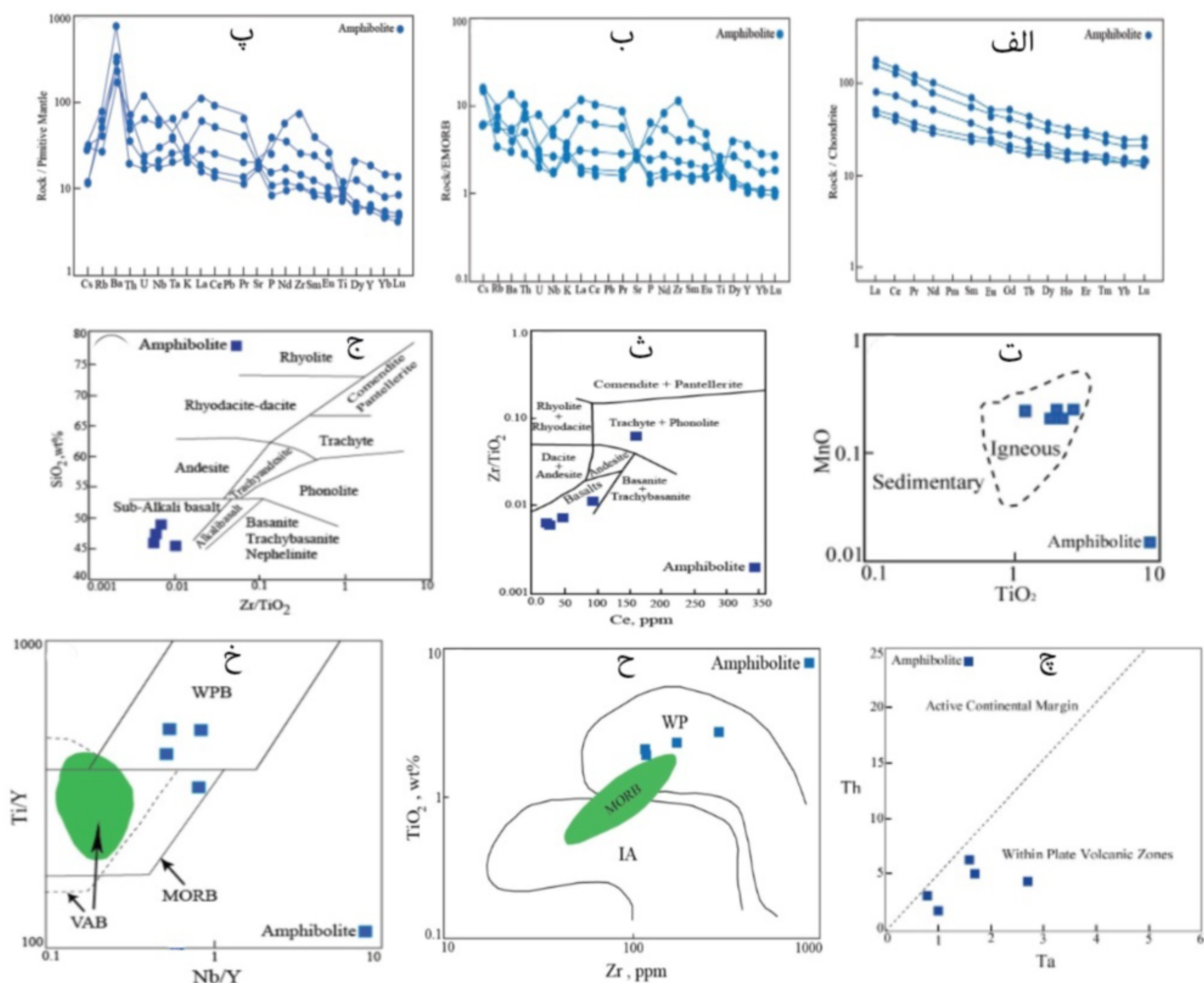
بیشتر مصرف اکسیدهای Fe_2O_3 و MnO در شبکه کانی‌های فرومنیزین در مراحل اولیه تبلور است. اکسید P_2O_5 نخست روند صعودی و سپس روند نزولی را نشان می‌دهد که بیشتر مصرف این اکسید طی تبلور کانی آپاتیت است. عناصر Br و Sr با افزایش MgO روندی نزولی دارند. البته در حالت کلی، آنها از عناصر ناسازگار و متحرک هستند و با کاهش مقدار اکسید MgO روندی افزایشی دارند که این می‌تواند ناشی از خاستگاه پوسته قاره‌ای و افزایش غلظت این عناصر در مراحل نهایی تبلور باشد. این عناصر با توجه به ناسازگار بودن، بیشتر وارد ساختار کانی‌هایی چون بیوتیت و فلدسپار پتاسیم در مراحل آخر تبلور جانشین Ca و K شده‌اند. عناصر Cr, Ni و V با افزایش MgO روندی صعودی دارند که از آنجا که از فلزات واسط و غیر متحرک هستند و با شعاع یونی حدواسط جانشین آهن و منیزیم می‌شوند، در مراحل اولیه جدایش فراوان هستند و سپس با تبلور کانی‌های فرومنیزین از مقدار آن‌ها کاسته می‌شود. عنصر V رفتاری شبیه به Ti دارد و تغییرات بیانگر جدایش اکسیدهای آهن – تیتان هستند [۱۰]. عناصر Nb, Y و Zr از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) و نامتحرک هستند که با افزایش اکسید MgO روندی نزولی دارند. از آنجا که این عناصر از نوع ناسازگار هستند، طبیعی است که با افزایش مقدار MgO از مقدار آن‌ها کاسته شود. عناصر نامبرده به علت ناسازگار بودن، براحتی نمی‌توانند در فازهای اصلی گوشته جایگزین شوند. از این رو، به احتمال بسیار به جای Ti در ساختار کانی‌هایی چون تیتانیت، روتیل، آمفیبول و گاهی آپاتیت قرار می‌گیرند [۱۰].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.4.7.0]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.4.801]

نمودارهای تغییرات عناصر خاکی نادر و کمیاب آمفیبولیت‌های شرق سلماس

با توجه به نمودار تغییرات عناصر خاکی نادر بهنجار شده به کندریت، نمونه‌های آمفیبولیتی منطقه مورد بررسی بیشتر دارای الگوی موازی هستند و عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) غنی-شدگی نشان می‌دهند. نمونه‌های آمفیبولیتی شرق سلماس براساس الگوی بهنجار شده به کندریت، ناهنجاری Eu ندارند و تقریباً بیانگر الگوهای بازالت‌های غنی شده‌ی نزدیک پشته‌های میان اقیانوسی هستند (شکل ۶ الف). غنی‌شدگی زیاد عناصر خاکی نادر سبک بویژه La، احتمال بسیار به سبب جدایش بلوری بوده و تهی‌شدگی عناصر خاکی نادر سنگین چون Yb و Lu به احتمال بسیار بیانگر وجود گارنت به عنوان فاز باقی مانده در خاستگاه گوشته است. در نمودار تغییرات عناصر کمیاب بهنجار شده به بازالت‌های پشته‌های اقیانوسی غنی شده (EMORB)، بیشتر نمونه‌ها تقریباً از نظر ویژگی‌های زمین-شیمیایی مشابه بازالت‌های درون صفحه‌ای هستند و تا حدی ناهنجاری منفی نشان می‌دهند (شکل ۶ ب).



شکل ۶ الف، ب و پ- نمودارهای تغییرات عناصر خاکی نادر و کمیاب بهنجار شده به کندریت، EMORB و گوشته اولیه برای آمفیبولیت‌های مورد بررسی. ت- برای تعیین نوع سنگ مادر آمفیبولیت‌ها نمودار Mno نسبت به TiO_2، ث- نمودار Zr/TiO_2 نسبت به Ce برای تعیین نوع سنگ مادر آمفیبولیت‌ها که بیشتر نمونه‌ها در گستره بازالت قرار دارند، ج- نمودار SiO_2 نسبت به Zr/TiO_2 که براساس آن سری ماگمایی سنگ مادر آمفیبولیت‌ها از نوع آهکی قلیایی است. چ، ح و خ- نمودارهای Th نسبت به Ta , TiO_2 نسبت به Zr و Ti/Y نسبت به Nb/Y برای تفکیک بازالت ها که براساس آنها، بیشتر نمونه‌های آمفیبولیتی در گستره بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار دارند.

نمونه‌های آمفیبولیتی منطقه مورد بررسی در نمودار الگوهای بهنجار شده به گوشته‌ی اولیه تقریباً روند موازی دارند (شکل ۴ پ). در این الگو آمفیبولیت‌های منطقه ناهنجاری مثبت Ba دارند که این عنصر به عنوان یکی از عناصر متحرک سیال، بیانگر آزاد شدن یک سیال آبکی در دماهای پایین از یک پوسته اقیانوسی فرورونده یا رسوب‌هاست [۱۱]. ناهنجاری منفی مشخصی از Nb, Ta و Ti برای برخی از آمفیبولیت‌های منطقه نسبت به گوشته‌ی اولیه وجود دارد از این رو، مقدار بالای Nb و Ta را می‌توان به خاستگاه درون صفحه‌ای و فرورانش برای نمونه‌های مورد بررسی نسبت داد [۱۲، ۱۳]. قله نسبت مثبت Th و U در این الگو به احتمال بسیار وابسته به ترکیب ماگمای خاستگاه یا درجه کم ذوب بخشی است (شکل ۶ پ).

شیمی سنگ کل و شرایط زمین‌ساختی‌ماگمایی تشکیل آمفیبولیت‌ها

برای تعیین سنگ مادر آمفیبولیت‌های منطقه مورد بررسی از نمودار MnO نسبت به TiO_2 استفاده شد [۱۴] بر این اساس، آمفیبولیت‌ها سنگ مادر آذرین دارند، یا به عبارتی از نوع اورتو-آمفیبولیت هستند. در این نمودار، همه نمونه‌های آمفیبولیتی درون گستره‌ی آذرین قرار دارند (شکل ۶ ت). برای تعیین نوع سنگ مادر آذرین آمفیبولیت‌های منطقه مورد بررسی از نمودار Zr/TiO_2 نسبت به Ce استفاده شد [۱۵] که بر این اساس بیشتر نمونه‌ها در گستره‌ی بازالت قرار دارند (شکل ۶ ث).

به باور پیرس وکن [۱۶]، مجموعه‌ای از سنگ‌های مختلف با ترکیب شیمیایی گوناگون برآمده از جدایش از یک ماگمای مادر بازی را یک سری ماگمایی گویند. سری‌های ماگمایی شامل سری‌های تولئیتی، قلیایی، ساب آلکالن، شوشونیتی و دگرگونی هستند. برای تعیین سری ماگمایی آمفیبولیت‌های منطقه مورد بررسی از نمودار SiO_2 نسبت به Zr/TiO_2 استفاده شد [۱۵] که بر این اساس، سری سنگ مادر آمفیبولیت‌ها از نوع نیمه قلیایی است (شکل ۶ ج). نمودارهای تفکیک محیط زمین‌ساختی ماگمایی به‌صورت نمودارهای تغییرات زمین شیمیایی هستند که در آن ماگماهای تولید شده در جایگاه‌های متفاوت زمین‌ساختی می‌توان را براساس ویژگی-های شیمیایی از هم تفکیک کرد [۱۷، ۱۸]. کاربرد گسترده و سادگی کاربست این نمودارها سبب شده است تا محیط فوران بازالت‌های قدیمی و جدید براحتی تجزیه یک سنگ تعیین شود. نمودارهای تفکیک کننده براساس عناصر کمیاب نسبت به نمودارهای براساس عناصر اصلی برای تعیین محیط زمین ساختی مجموعه‌ای از بازالت‌ها اعتبار بیشتری دارند، زیرا نمودارهای تفکیک کننده، براساس عناصر اصلی همپوشی گسترده‌ای در شیمی عناصر اصلی بازالت پشته‌های میان اقیانوسی (MORB)، تولئیت‌های حوضه پشت قوس و بازالت-های قوس‌های آتشفشانی دارند [۱۸]. از این رو، برای تفکیک محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ مادر آمفیبولیت‌های شرق سلماس از نمودارهای براساس عناصر کمیاب استفاده شد. بر پایه نمودار تفکیک کننده‌ی دوتایی Th نسبت به Ta [۱۹]، نمونه‌های آمفیبولیتی منطقه مورد بررسی در گستره‌ی زمین ساختی درون صفحه‌ای قرار دارند (شکل ۶ چ). براساس نمودار-های TiO_2 نسبت به Zr و Ti/Y نسبت به Nb/Y [۲۰] برای جدا کردن انواع بازالت نیز، بیشتر نمونه‌های آمفیبولیتی در گستره بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار دارند (شکل‌های ۶ ح و خ).

برداشت

آمفیبولیت‌های شرق سلماس واقع در غرب دریاچه ارومیه در منتهی‌الیه شمال غرب ایران و در محل برخورد دو پهنه مهم ساختاری سنندج – سیرجان و ایران مرکزی قرار گرفته‌اند، که براساس مطالعات صحرایی عمدتاً از نوع آمفیبولیت‌های جهت-یافته و فولیاسیون‌دار می‌باشند. براساس مطالعات میکروسکوپی، آمفیبولیت‌های منطقه متشکل از ۶ گروه آمفیبولیتی از قبیل آمفیبولیت‌ها ، بیوتیت – آمفیبولیت‌ها، اپیدوت – آمفیبولیت‌ها، بیوتیت - اپیدوت – آمفیبولیت‌ها، ترمولیت - اکتینولیت – آمفیبولیت‌ها و بیوتیت - کلینوپیروکسن- آمفیبولیت‌ها می-باشند. با توجه به نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی بهنجار شده به کندریت، EMORB و گوشته‌ی اولیه، نمونه‌های آمفیبولیتی

منطقه مورد مطالعه دارای الگوهای موازی بوده که بطور کلی دارای غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین، فاقد آنومالی Eu، غنی‌شدگی زیاد عناصر نادر خاکی سبک به‌ویژه La، تهی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین از قبیل Yb و Lu، آنومالی مثبت Ba، آنومالی منفی مشخصی از Nb, Ta و Ti و محتوی بالای Nb و Ta که همه این موارد بیانگر ویژگی‌های ژئوشیمیایی مشابه بازالت‌های درون صفحه‌ای می‌باشند. با توجه به شیمی سنگ کل و بررسی شرایط تکتونوماگمایی تشکیل آمفیبولیت‌ها، پروتولیت این سنگ‌ها از نوع اورتوآمفیبولیت با منشأ آذرین بوده که سنگ مادر آذرین آمفیبولیت‌ها از نوع بازالت با سری ساب‌آلکالن و جایگاه تکتونیکی بازالت‌های درون صفحه‌ای می‌باشند.

مراجع

[1] Stocklin J., *"Structural history and tectonics of Iran: A review"*, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52 (1968) 1229-1258.

[2] Alavi M., *"Tectonics of Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations"*, Tectonophysics, 229 (1994) 211-238.

[3] Mohajjel M., Fergusson C.L., *"Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran",* Journal of Structural Geology, 22 (2000) 125–1139.

[4] Shafaii Moghadam H., Stern R.J., *"Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia: (I) Paleozoic ophiolites",* Journal of Asian Earth Sciences, 91 (2014) 19–38.

[5] Khodabandeh A.A., Aminifazl A., *"Geology map of 1/100000 Tasuj. The Geological Survey and Mineral Exploration of Iran* (1372).

[6] Khodabandeh A. A., Soltani G.A., Sartipi A.H., *"Geology map of 1/100000 Salmas"*, The Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (1372).

[7] Shafaii Moghadam H., Li X.H., Ling X.X., Stern R.J., Santos J.F., Minhold G., Ghorbani Gh., Shabani Sh., *"Petrogenesis and tectonic implications of Late Carboniferous A type granites and gabbronorites in NW Iran: Geochronological and geochemical constraints"*, Lithos (2015) 266-279.

[8] Asadpour M., Heuss S., Pourmaafi S. M., *"New evidences of Precambrian and Paleozoic magmatism in the Gharebagh intrusive"*, NW of Iran, Journal of Earth Sciences (1392).

[9] Kocak K., Isik F., Arsland n., Zedef V., *"Petrological and source region characteristics of ophiolitic hornblende gabbros from the Aksaray and Kayseri regions, Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey"*. Journal of Asian Earth Science, 25 (6) (2005) 883-891.

[10] Wilson M., *"Igneous Petrogenesis: A global tectonic approach"*, Springer, Dordrecht, pp. 466. (1989).

[11] Pearce J. A., Stern R. J., *"Origin of back-arc basin magmas: Trace element and isotope perspectives"*, Back-Arc Spreading Systems: Geological, Biological, Chemical, and Physical Interactions (2006) 166:63-86.

[12] Edwards C.M.H., Menzies M.A., Thirlwall M.F., Morris J.D., Leeman W.P., Harmon R.S., *"The transition to potassic alkaline volcanism in island arcs: The Ringgit-Beser complex, east Java, Indonesia"*, Journal of Petrology, 35 (1994) 1557–1595.

[13] Zou H.B., Zindler A., Xu X.S., Qu Q., *"Major, Trace elements and Nd, Sr and Pb isotope studies of Cenozoic basalts in SE China: Mantle source"*, regional variations, and tectonic significance. Chemical Geology,171 (2000) 33–47.

[14] Misra S.N., *"Chemical distinction of high grade ortho- and para-metabasite"*, Norsk Geologisk Tidsskrift, 51 (1971) 311-316.

[15] Floyd P.A., Winchester J.A., *"Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanics using immobile elements"*, Chemical Geology, 21 (1978) 291-306.

[16] Pearce J.A., Cann J. R., *"Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y."*, Earth and planetary Science Letters, 12 (1971) 339-349.

[17] Pearce J.A., Cann J.R., *"Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.4.7.0]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.4.801]

elements analysis", Earth and Planetary Science Letters, 19 (1973) 290-300.

[18] Perfit M.R., Gust D.A., Bence A.E., Arculus R. J., Taylor S. R., *"Chemical characteristics of island arc basalts: Implications for mantle sources*", Chemical Geology, 30 (1980) 227-256.

[19] Schandi E.S., Gorton M.P., *"Application of high field strength elements to discriminate tectonic setting in VMS environments*". Economic Geology, 97(3) (2002) 629– 642.

[20] Pearce J.A., *"Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries*", In: Thorpe, R.S. (eds), andesites. Wiley, Chichester, 525-548.